

Tartu Ülikool
Loodus- ja tehnoloogia teaduskond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö geoinformaatikas ja kartograafias

**Geoinformaatika kasutus arheoloogias Võrtsjärve
põhjaranniku uurimise näitel**

Maria Trušina

Juhendaja: prof. Tõnu Oja

Kaasjuhendaja: prof. Aivar Kriiska

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2013

Sisukord

Sissejuhatus.....	3
Uurimisala.....	5
Tallgreni Suur-Võrtsjärve paleogeograafiline rekonstruktsioon.....	6
Uurimisala reljeef.....	7
Võrtsjärve arenguetapid.....	9
Kiviaegsed asulakohad.....	10
Kõrgusandmed.....	12
Olemasolevad kõrgusandmed.....	12
Uuritava ala kõrgusmudeli koostamine.....	13
Asulakohtade kandmine kaardile.....	15
Asulakohtade asend reljeefil.....	18
Kõrgusmudeli kallutamine.....	20
Asulakohtade paiknemine kallutatud reljeefil.....	25
Arutelu.....	28
Tulemused ja kokkuvõte.....	31
Summary.....	32
Kasutatud kirjandus.....	34

Sissejuhatus

Geoinformaatika kasutamine arheoloogias avab mitmeid perspektiive, pakkudes kaasaegseid meetodeid arheoloogilise materjali dokumenteerimiseks ja luues seeläbi võimalusi teha järeldusi visuaalse materjali põhjal. Käesolevas töös on kirjeldatud geoinformaatika kasutusvõimalusi arheoloogias uuritava ala reljeefi paleogeograafilise rekonstruktsiooni näitel.

Arheoloogia on minevikuteadus, mis oma klassikalises vormis tegeleb inimajalooga enne kirjalikke allikaid. Arheoloogilise leiumaterjali (nt esemed, mis jäeti kiviaja inimeste poolt aladele, kus nad elasid) põhjal võib muuhulgas teha järeldusi inimeste eelistustest elamispaikade valikul. Üheks vahendiks inimeste elamispaikade (asulakohtade) paiknemise analüüsimiseks on nende leviku visualiseerimine kaardi abil. Taolisi analüüse saab teostada kasutades paleogeograafilist rekonstruktsiooni. Kõrgusandmete paleogeograafiline rekonstruktsioon pakub aga omakorda andmeid uute asulakohtade otsimiseks.

Lihtsamaid paleorekonstruktsioone on arheoloogid teinud juba aastakümneid. Paleogeograafilise rekonstruktsiooni Võrtsjärve põhjaosast tegi esmakordselt Tartu Ülikooli esimene arheoloogiaprofessor, soome arheoloog Aarne Michaël Tallgren geograafia professor Johannes Gabriel Granö abiga juba eelmise sajandi 20. aastatel (Tallgren, 1922; vt ka Kriiska ja Lõugas, 2006).

Paleogeograafilised rekonstruktsioonid Pärnu lahest (Rosentau *et al.*, 2011) ja Narva-Luga klindilahest (Rosentau *et al.*, 2013) kirjeldavad Läänemere rannavööndi pärastjääaegseid muutusi ja kiviaegsete asulakohtade paiknemist Litorinamere, Antslusjärve ja Joldiamere randadel. Lahtede paleoreljeefi ja arheoloogiliste andmete ühendamisel analüüsiti kiviaja inimeste maakasutuse üldiseid printsiipe.

Võrtsjärve põhjaranniku paleoreljeefi ja kiviaja asulakohtade omavaheline kokkusobitamine on käesoleva töö üldine eesmärk. 20.-21. sajandil ei olnud uuritava ala paleogeograafilised rekonstruktsioonid nii ulatuslikud kui Tallgreni oma. 20. sajandi lõpul ja 21. sajandi algul leiti Kolga-Jaani piirkonnas uusi kiviaja asulaid. Nende visualiseerimine paleoreljeefil annab uusi teadmisi kiviaja asulakohtade paiknemisest Võrtsjärve muinasrandadel.

Võrtsjärve põhjaosa rannajoone paleorekonstruktsiooni tegemisel kasutab käesoleva töö autor täpseid kaugseire kõrgusandmeid. Arheoloogilise materjali kasutus piirneb ainult kindlaks määratud mesoliitiliste asulakohtade kohainfoga. Vaatluse alla on võetud 28 keskmise kiviaja mesoliitilikumi asulakohta. Teave asulakohtadest pärineb erinevatel aegadel tehtud uurimistest, kus on kasutatud erinevaid asukoha määramise viise. Asulakohad on kantud kaardile ja kontrollitud nende paiknemise seotus Suur-Võrtsjärvega.

Magistritöös on antud ülevaade geoinformaatika ja kartograafia meetodite kasutamisest arheoloogias Võrtsjärve põhjaranniku uurimise näitel. Selleks on kirjeldatud Kolga-Jaani piirkonda arheoloogia, geoloogia ja geograafia vaatenurgast. Töö tulemuseks on Kolga-Jaani piirkonna kõrgusmudeli paleogeograafiline rekonstruktsioon. Samuti on kontrollitud, kas piirkonnas leitud asulakohtade paiknemine on seotud minevikus eksisteerinud nn Suur-Võrtsjärve kallastega.

Töö eesmärgid on:

- kanda ühele kaardile kõik uuritava ala piires teadaolevad mesoliitilised asulakohad;
- vaadelda geoinformaatika kasutamise võimalusi arheoloogilise andmestiku analüüsil ja tõlgendamisel: koostatud paleogeograafilise kõrgusmudeli abil jälgida Suur-Võrtsjärve rannajoont ja kontrollida mesoliitiliste asulakohtade paiknemise loogikat reljeefi, rannajoone ja muude võimalike geograafiliste nähtuste suhtes.

Uurimisala

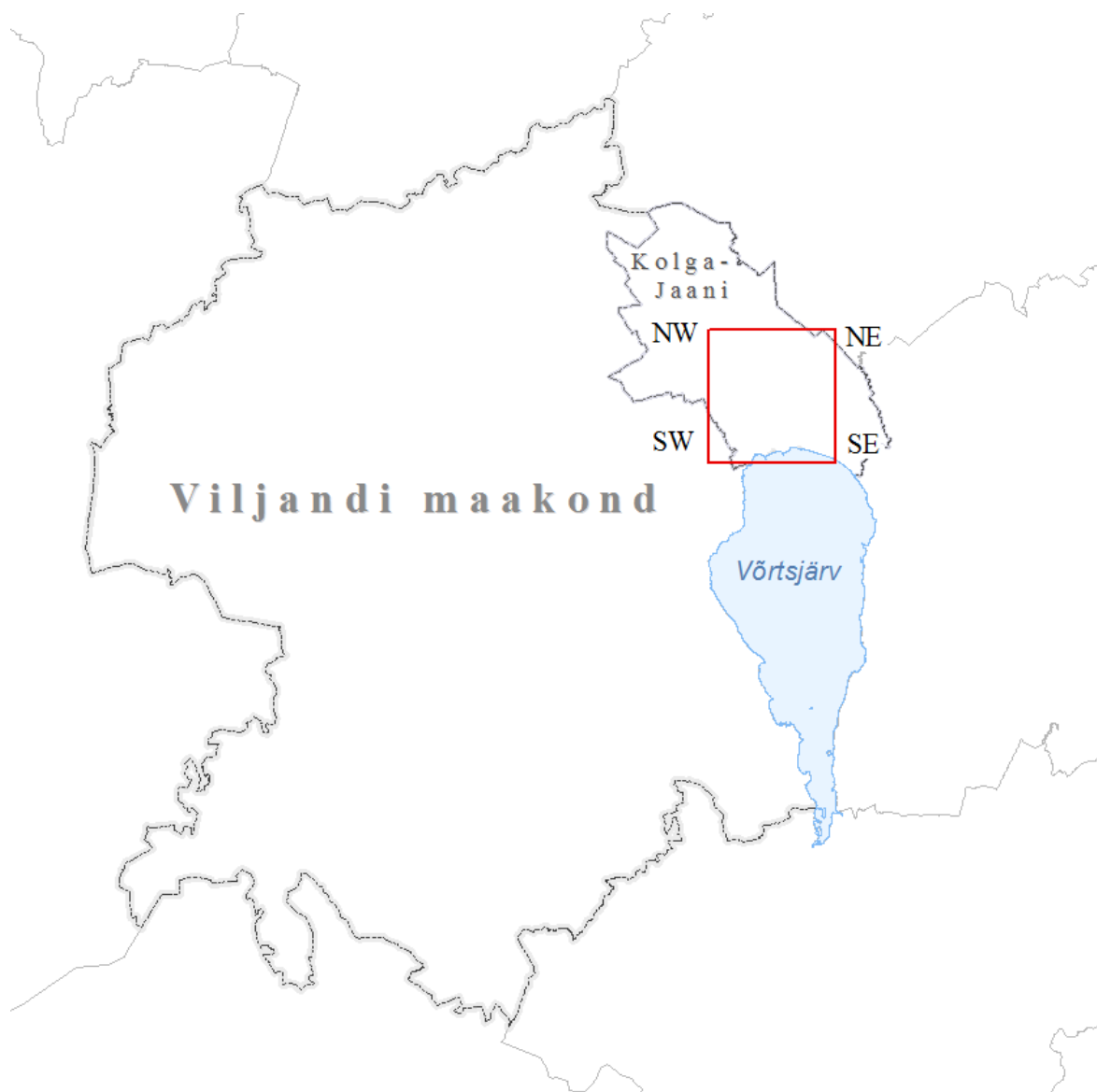
Uuritav ala asub Kesk-Eestis, Võrtsjärvest põhja pool (joonis 1). See paikneb enamasti Viljandi maakonnas, Kolga-Jaani vallas. Uuritav ala pindala on 130,84 km². Ristküliku horisontaalse külje pikkus on 11 130 m ja vertikaalse külje pikkus 11 778 m.

N: 6486520

S: 6474740

E: 623095

W: 611975



Joonis 1. Uurimisala

Kolga-Jaani piirkond on huvitav nii geoloogilisest, geograafilisest, kui ka arheoloogilisest vaatenurgast. Piirkonna valik on põhjendatud sellega, et Võrtsjärve põhjaosa on üks rikkalikum kiviaja leidudega piirkondi Eestis (Kriiska ja Lõugas, 2006).

Tallgreni Suur-Võrtsjärve paleogeograafiline rekonstruktsioon

A. M. Tallgren tegi paleogeograafilise rekonstruktsiooni Võrtsjärve põhjaosast eelmise sajandi kahekümnendatel aastatel (Tallgren, 1922; Kriiska ja Lõugas, 2006). Tallgreni paleorekonstruktsiooni piirkond on pindalalt suurem kui ala, mis on vaatluse all käesolevas töös. Veel üks asjaolu, mis eristab käesolevas töös tehtud rekonstruktsiooni Tallgreni omast, on lähteandmete valik. Tallgren kasutas geoloogia, geograafia ja arheoloogia andmeid, kuid arheoloogiliste andmete valik, nagu näitasid hilisemad uuringud, oli eksitav, sest ta kasutas mesoliitilistele asulakohtadele lisaks ka juhuleidude kohainfot (Tallgren, 1922; Kriiska ja Lõugas, 2006), mis muudab reeglipärasuste leidmise raskemaks. Tallgreni paleorekonstruktsioon Võrtsjärve põhjaosast on toodud joonisel 2.



Joonis 2. Tallgreni Suur-Võrtsjärve paleorekonstruktsioon (Tallgren, 1922). Lisaks praegusele rannajoonele on näidatud ka sellest 2 ja 4 m võrra kõrgemale veetasemele vastavad rannajooned. Punasega on tähistatud nii asulakohad, kui ka juhuleiud.

Uurimisala reljeef

Reljeef on maakoore pealmise osa vormistik, maapinna ebatasasuste kogum või lihtsamalt – maakoore pealispinna kuju (Arold, 1987). Nüüdis-Eesti pealispinna kuju on kõige enam kujundanud viimane jääaeg (Raukas, 1995).

Viimase Skandinaavia jäätumise liustikud jõudsid Eesti territooriumile mitte varem kui 22000 aastat tagasi, kuid hinnanguliselt oli Eesti territoorium jääkatte all mitte rohkem kui 9000 aastat (Kalm jt., 2011). Pärastjääaegset perioodi nimetatakse Holotseeniks ja see algas $11\,700 \pm 99$ aastat tagasi (alguse piir on määratud 2000.a. suhtes) (Walker *et al.*, 2009).

Võrtsjärvest põhjapool asub Kolga-Jaani voorestik kogu pindalaga 160 km² (Hoib, 1979). Voored paikevad rühmades ja moodustavad voorestikke (Arold jt., 1987). Kolga-Jaani voorestikule on iseloomulikeks pinnavormideks madalad väikevoored, mida eraldavad nõod (Hoib, 1979). Voored on enamasti ovaalse kujuga, laugete kumernõgusate nõlvadega künnised või seljakud, mis koosnevad valdavalt moreenist ja on suunatud mandrijää liikumise suunas (Arold jt., 1987). Käesolevas magistritöös uritava ala pindala ei hõlma tervet Kolga-Jaani voorestiku territooriumi, vaid ainult voorestiku suuremat lõunapoolset osa.

Voored tekkisid jääaja lõpul, millal mandrijää oli niivõrd nõrgenenud, et ei suutnud suuremaid aluspinna takistusi otse ületada, vaid jagunes jääkeelteks, mis liikusid piki maapinna madalamaid osi (Hoib, 1979). Ennejääaegne reljeef mõjutas jääajal liustike liikumist (Raukas, 1988). Liustiku liikumine meenutab veevoolu – suure massi tõttu ja suure rõhu all muutub jää plastilisemaks ning on oma aeglases liikumises sarnane pooleldi sulanud laavaga (Benn ja Evans, 1998).

Kui liustik sulas, täitusid voortevahelised nõod veega ja voorestiku territooriumil tekkis rohkesti järvi, mis hakkasid kliima soojemaks ja niiskemaks muutumise tagajärjel soostuma (Valk, 2005). Kolga-Jaani voori katab liivsavimoreen, millel on kujunenud iseloomulikud pruunmullad, voortevahelistes nõgudes on pinnakatteks toorhuumus või turvas ning seetõttu levivad siin soostunud ja soomullad (Hoib, 1979).

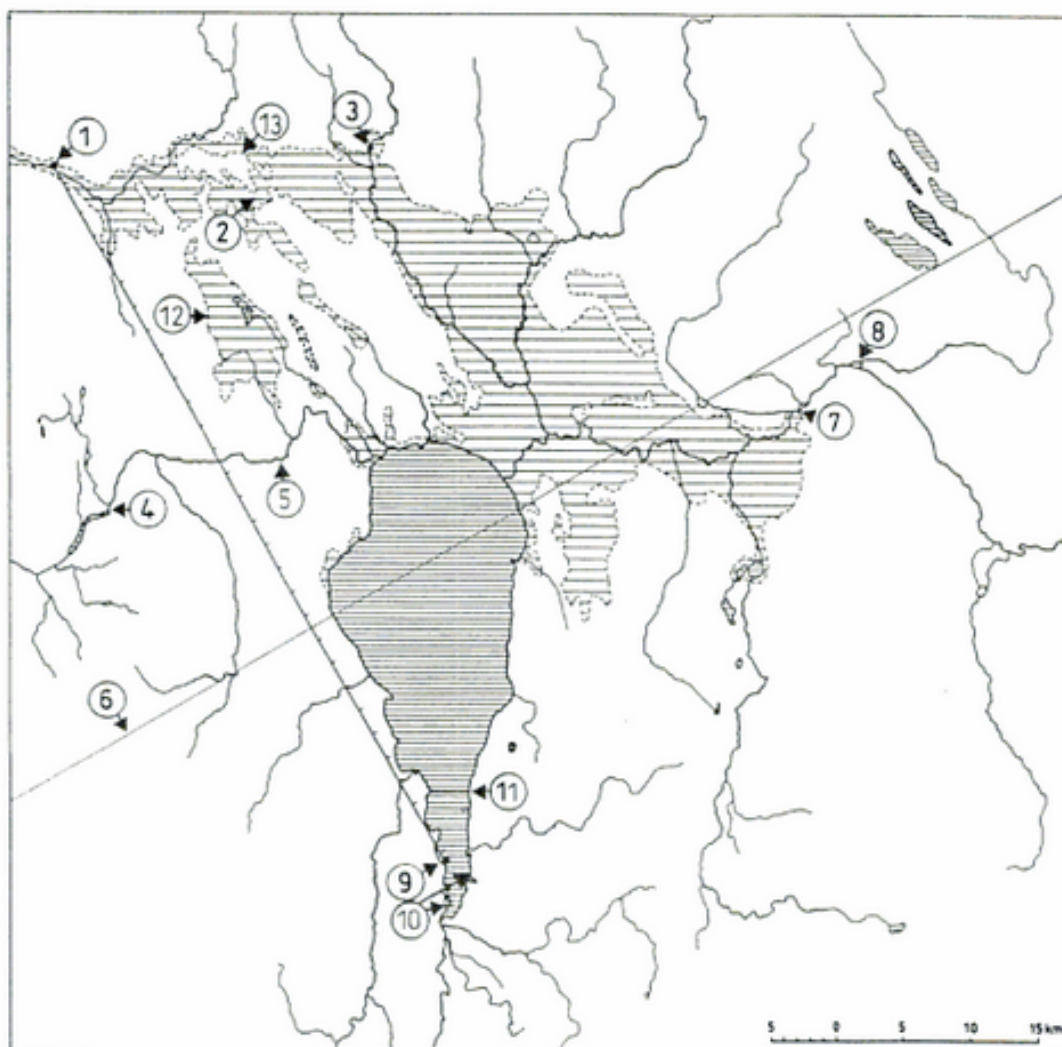
Liustiku sulamise järel on toimunud jääaja järgne neotektooniline maapinna kerge. Vertikaalne maapinna liikumine toimub ka tänapäeval – üldistades tähendab see, et Loode-

Eesti tõuseb ja Kagu-Eesti vajub (Viiding, 1995). Võrtsjärve nõo kiireim maakerke asimuut on setete uurimise põhjal 330° (Moora ja Raukas, 2003).

Võrtsjärve arenguetapid

Võib eristada mitmeid Võrtsjärve arengustaadiume ehk etappe. Eristatakse Jää-Võrtsjärve, Ürg-Võrtsjärve, Suur-Võrtsjärve ja Nüüdis-Võrtsjärve etappe (Orviku, 1958; Orviku, 1973). Käesolevas töös uurime võimaliku Suur-Võrtsjärve ulatust Kolga-Jaani voorestikus.

Suur-Võrtsjärv tekkis Holotseeni alguses ja selle rannajoon asus mitmete kilomeetrite kaugusel Nüüdis-Võrtsjärve rannajoonest (Orviku, 1973). Moora ja Raukase poolt pakutud Suur-Võrtsjärve ulatuse skeemilt (joonis 3) nähtub, et suurem erinevus Nüüdis- ja Suur-Võrtsjärve vahel on just põhjapoolses järve osas. Suur-Võrtsjärv eksisteeris Kesk-Holotseeni alguseni (Moora *et al.*, 2002).



Joonis 3. Moora ja teiste poolt koostatud Suur-Võrtsjärve ulatuse skeem (Moora *et al.*, 2002). Suur-Võrtsjärve ala on tähistatud hõredama horisontaaltriibutusega. Numbritega on tähistatud uurimiskohad, sette proovid ja mõtteline telgjoon, millest NNW-poolne järvenõgu on jäänud 10 000 ^{14}C aasta jooksul kuivale ja SSO-poolne osa vee alla. Naritsa asub 9. punkti kohal ja Paenaste 2. punkti kohal.

Kiviaegsed asulakohad

Inimasustus sai Eesti alal alguse veidi vähem kui 11 000 aastat tagasi, seda vanimat kiviaja alaperioodi nimetatakse mesoliitikumiks ehk keskmiseks kiviajaks (Kriiska, 2009). Mesoliitikum kestis veidi enam kui 4500 aastat.

Kiviaegset arheoloogilist materjali on Kolga-Jaani piirkonnas leitud võrdlemisi palju. See piirkond on pakkunud huvi erinevatele harrastusarheoloogidele ja arheoloogidele erinevatel aegadel. 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi algul tegelesid Kolga-Jaani voorestiku varase inimasustuse uurimisega Martin Bolz ja Richard Indreko (Bolz, 1914a; Bolz 1914b; Indreko, 1932; Indreko 1935). Viimase kahekümne aasta jooksul on Kolga-Jaani voorestiku kiviaega uurinud Aivar Kriiska, Andres Vindi ja Andres Tvauri (Kriiska ja Johanson, 2003; Kriiska ja Johanson 2004; Kriiska jt., 2004a; Kriiska jt., 2004b; Kiristaja jt., 1998; Konsa ja Ots, 2002; Konsa ja Ots, 2003; Kalle, 2005)

Tartu Ülikooli arheoloog Andres Tvauri võttis Kolga-Jaani piirkonna vaatluse alla 1997. aastal, mil ta käis voortel olevatel küntud põldudel umbes 40 m kõrgust isobaasi jälgides (Kiristaja jt., 1998). Neid töid jätkas Andres Vindi, kes on aluseks võtnud 36 m samakõrgusjoone (Konsa ja Ots, 2002; Konsa ja Ots, 2003). Kiviaja asulakohtade otsimise kogemus näitab, et Kolga-Jaani uurimist tuleb jätkata ka tulevikus (Kriiska jt., 2004a).

Uuritavas piirkonnas on mitmeid leiukohti, mida dateeritakse mesoliitikumi (Kriiska, 2004). Leiukohti eristatakse üksikleidudeks (juhuleidudeks) ja asulakohtadeks. Arheoloogia terminoloogia kohaselt on kiviaja asulakoht tinglik termin, mis koondab eneses väga erinevaid inimese elupaiku, nagu külad, ühe või mitmekordsed laagri- ja peatuspaigad (Kriiska, 2004) ja asulakoha määramiseks kokkuleppeliseks piiriks on leidude arv samast kohast – kas kivitööjääki, tööriista või savinõukildu (Kriiska jt., 2004a). Kui leide on 1-2, loetakse need juhuleidudeks, kui ühes leiukohas on enam kui kaks leidu, siis seda leiukohta võib käsitleda asulakohana. Leiukohti, kust on avastatud vähem kui kolm leidu, käsitletakse üksikleidudena, oletades, et need esemed on kas sinna kaotatud või muul põhjusel sinna jäetud (Kriiska, 2004). Leiukohtade ja asulakohtade omavaheline eristumine on siiski suhteline, sest praktika näitab, et üksikleikoha põhjalikemate uuringute käigus leitakse sageli lisamaterjali (Kriiska jt., 2004a). Käesolevas magistritöös on terminiga 'asulakoht' tähistatud selline leiukoht, kust leiti üle kahe eseme või selle tootmisjäägi ja mille dateeringuks määrati mesoliitikum.

Uuritaval alal on veel mitmeid leiukohti, kuid töö eesmärkide saavutamiseks otsustati võtta vaatlusele vaid need asulakohad, mille kohta on olemas põhjendatud arvamus nende kuulumise kohta mesoliitikumi (Kriiska jt., 2004b; Kalle, 2005). Selliseid asulakohti on 28. Arvatavasti on tänaseks leitud siiski vaid väike osa kiviaja inimeste elupaiku (Kriiska ja Tvauri, 2002) ja uuritaval alal võib leida veel rohkesti seni tundmatuid asulakohti.

Kõrgusandmed

Lähtuvalt töö eesmärkidest oli vaja saada uuritava ala digitaalne kõrgusmudel, mis oleks piisavalt täpne Suur-Võrtsjärve rannajoone rekonstrueerimiseks. Selleks oli kaks võimalust – kas kasutada mõnda sobilikku kõrgusmudelit olemasolevatest reljeefimudelitest või moodustada uus kõrgusmudel.

Olemasolevad kõrgusandmed

Tallgreeni mudelil on tänaseks pigem ajalooline väärtus, selle detailsus ei ole täna enam piisav.

Üks kõrgusmudel, mis kirjeldab situatsiooni uuritaval alal, on valminud Tartu Ülikooli geograafia instituudis bakalaureusetöö tulemusena 2006. aastal. See on Võrtsjärve nõo kõrgusmudel, mille koostamisel kasutati Nõukogude Liidu topograafiliste kaartide kõrgusandmeid ja lähtuvalt töö eesmärkidest digitaliseeriti samakõrgusjooni 2,5 m lõikevahega (Mell, 2006).

Võrtsjärve nõo kõrgusmudeli koostaja bakalaureusetöö eesmärgiks oli selgitada kõrgusmudeli kasutusvõimalusi suurte veekogude arengu rekonstrueerimisel (Mell, 2006), töö käigus koostatud mudeliga kaetud ala pindala on 3506 km² ja töö eesmärkide saavutamiseks oli samakõrgusjoonte lõikevahe valik põhjendatud, kuid käesoleva magistrیتöö eesmärkide saavutamiseks on selline kõrgusmudel liiga üldine. Vaatluse alla võetud ala pindala on kordi väiksem, kõigest 130,8 km². Väiksema ala puhul on detailsema ehk väiksema samakõrgusjoonte lõikevahede põhjal genereeritud kõrgusmudeli kasutamine mõistlikum, sest selline mudel toob paremini välja reljeefi erisusi ja võimaldab ka täpsemalt hinnata asulakohtade paiknemist reljeefil. Siit tulenes otsus moodustada kõrgusmudel ise.

Uuritava ala kõrgusmodeli koostamine

Üheks käesoleva magistritöö eesmärgiks on kanda ühele kaardikihile kõik teadaolevad keskmise kiviaja asulakohad, mida leidub uuritava ala piires. Suurem osa Kolga-Jaani asulakohtadest on uuritud 20. sajandi lõpus ja 21. sajandi alguses (Kriiska ja Lõugas, 2006). Arheoloogid kasutasid asulakohtade otsimisel ja nende paiknemise dokumenteerimisel arheoloogiliste inspeksioonide aruannetes nn O-süsteemi topograafilisi kaarte mõõtkavas 1:10 000.

Nagu juba eelpool mainitud, otsisid Tartu Ülikooli arheoloogid Andres Tvauri (Kiristaja jt., 1998) ja Andres Vindi (Konsa ja Ots, 2002; Konsa ja Ots, 2003) kiviaja asulakohti Kolga-Jaani piirkonnas topokaartidel 36 m ü.m.p. või 40 m ü.m.p. samakõrgusjooni jälgides. Selleks, et saada üldist pilti asulakohtade paiknemisest reljeefil, otsustati moodustada kõrgusmodel samade topokaartide kõrgusandmete põhjal.

Kõrgusmodeli saamiseks oli vaja digiteerida kõrgusandmeid – kõrgusjooni (horisontaale) ja kõrguspunkte. Samakõrgusjoonte ehk horisontaalide lõikevaheks valiti põhihorisontaalid lõikevahega 1,0 m ja abihorisontaalid lõikevahega 0,5 m. Lisaks horisontaalidele valiti mudelisse ka kõrguspunktid, mis kirjeldavad maapinna absoluutkõrgust. Kokku digiti üle 600 samakõrgusjoone ja üle 1000 kõrguspunkti.

Varasemad fossiilsete rannamoodustiste uuringud Suur-Võrtsjärve rannajoone rekonstrueerimiseks näitasid, et Võrtsjärve muistne rannajoon oli tänapäevasest kõrgusjoonest vähemalt 3-4 m kõrgemal (Miidel jt., 2003). Erinevate andmete põhjal on tänapäeva Võrtsjärve rannajoon 33-34 m ü.m.p., see tähendab, et fossiilsete rannamoodustiste uuringute järgi võiks muistne Võrtsjärve rannajoon olla 36-38 m kõrgusel tänase reljeefi järgi. Uuritaval alal paiknevatest kiviaja asulakohtadest asub kõige madalamal Oiu III asulakoht, kõrgus 36,2 m ü.m.p. Selleks, et Oiu III saaks kantud reljeefimudelisse, valiti madalaimaks digiteeritavaks kõrgusjooneks 35 m ü.m.p.

Kõrgusandmete digiteerimine toimus programmi ArcGIS ja Maa-ameti WMS-teenuse abil. WMS aluskihina kasutati NL topokaarte mõõtkavas 1:10 000. Samakõrgusjoonte kõrgused on 35-52 m kõrgusvahemikus, kõrguspunktid 33,3-52,3 m kõrgusvahemikus. Programmi ArcGIS abil joon- ja punktobjektide vektorkihid teisendati rastiiks piksli suurusega 5×5 m. Koostatud mudelisse lisati uuritavalt alalt leitud asulakohad, mis annavad ülevaate

asulakohtade paiknemisest Kolga-Jaani territooriumil (joonis 2). Asulakohtade kõrguskoordinaadi väärtus määrati kõrgusmodelilt.

Eesti territooriumil teostati aerolaserskaneerimine aastatel 2008 – 2012. Laserskanneriga ALS50-II varustatud lennukid kogusid andmeid ka uuritava ala kohta 2010. aastal, kui aerolaserskaneerimine toimus Kesk-Eestis ([Maa-ameti geoportaal](#) b). Andmehulk oli suur ja selliste suuremahuliste andmete korrastamine võtab aega – vaid pooled LIDAR-i poolt suurest hulgast salvestatud kõrguspunktidest iseloomustasid maapinnapunkte ([Maa-ameti geoportaal](#) a). 2012. aasta kevadsuvel said kättesaadavaks ka LIDAR-i andmetest tuletatud kõrgusmodelid, mis kirjeldavad tänapäevast uuritava ala reljeefi kõige detailsemalt. Sestap oli otstarbekas antud töös kasutada ka neid.

LIDAR-i andmeid telliti Maa-ametist. LIDAR-i poolt salvestatud kõrguspunktide täpsus on vahemikus 0,07-0,12 meetrit ([Maa-ameti geoportaal](#) a). Kokku puudutab uurimisala 12 TIFF faili, iga fail kirjeldab Eesti põhikaardilehe kõrgusandmeid (5×5 m maapinnamudelina). Kasutatud kaardilehed: 54711; 54712; 54713; 54714; 54721; 54723; 54811; 54812; 54813; 54814; 54821; 54823. Andmeid kasutatakse vastavalt litsentsilepingule nr ST-A1-2234.

Programmi ArcGIS abil liideti rastrid kokku üheks failiks ja lõigati välja uuritava ala suurune raster. Rastri piksli suurus on 5 m. Uuritava ala rastri pikslite veergude ja ridade arv on vastavalt 2224 ja 2356.

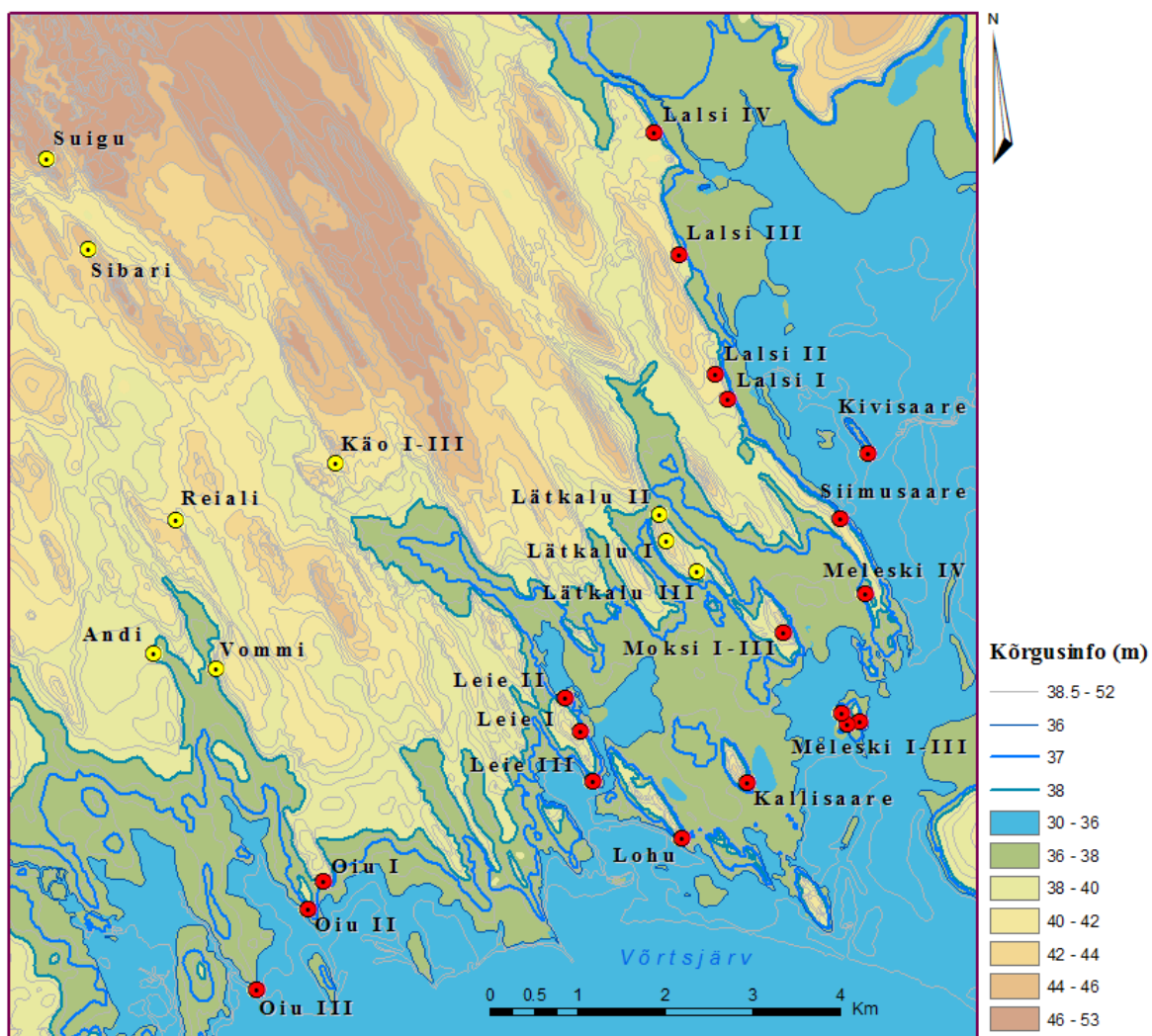
Asulakohtade kandmine kaardile

Kiviaja asulakohtade paiknemine Võrtsjärve muinasrandadel on dokumenteeritud arheoloogiliste inspeksioonide aruannetes, kus paiknemise kirjeldusele on lisatud ka plaanid ja kaardid. Paljud asulakohad on märgitud NL topograafilistele kaartidele, tihti punktina. Varem leitud asulakohtade paiknemine on märgitud verstakaartidele. Kaardid ja plaanid on enamasti paberkandjal. Mõne leiupaiga kohta puudusid kaardid, kuid töö käigus kohainfo täpsustati Tartu Ülikooli arheoloogia õppetooli töötajate abil. Väike hulk asulakohti (Meleski I, II, III ja IV) ei ole seni veel põhjalikumalt dokumenteeritud ning teave nende kohta pärineb juhendajalt prof. Aivar Kriiskalt.

Üheks käesoleva töö eesmärgiks on kaardistada võimalikult täpselt reljeefi suhtes muistse Võrtsjärve põhjarannikul leitud kiviaja asulakohad ja nende paiknemise põhjal jälgida Suur-Võrtsjärve rannajoont. Selleks tõsteti uuritava ala mesoliitilised asulakohad kokku ühele digitaalsele kihile.

Maa-ameti WMS-teenuse abil kaardistati järgmised 17 asulakohta: Oiu I, Oiu II, Oiu III, Leie I, Leie II, Leie III, Lalsi I, Lalsi II, Lalsi III, Lalsi IV, Meleski I, Meleski II, Meleski III, Meleski IV, Lohu, Siimusaare ja Kivisaare. Ülejäänud 11 asulakoha paiknemise info pärineb TÜ arheoloogilise kabineti töötajate Riina Juuriku ja Andres Vindi abil Arheoloogilise ja pärimusliku kohainfo andmebaasist, mis oli loodud leiukohtade dokumenteerimiseks digitaalsel kujul. Arheoloogilise ja pärimusliku kohainfo andmebaasis on leiukohad märgitud digitaalsele kaardile inspeksioonide aruannete kirjelduste ja kaartide/plaanide järgi. Avalikul kasutajal ei ole asulakohtade paiknemise andmetele ligipääsu, kuid TÜ arheoloogia kabinetis saab asulakohtade kohainfoga tutvuda.

Asulakoht joonistati punktobjektina (joonis 4), mille asukohaks valiti asulakoha paiknemise keskmine punkt kaardil. Asulakohtade kiht kohastikustati kõrgusmodelitega, nii sai määrata ka asulakohtade koordinaate. Asulakohtade kõrgused loeti nii NL topokaarde, kui LIDAR-i kõrgusandmete põhjal tehtud kõrgusmodelitest (tabel 1).



Joonis 4. Asulakohtade paiknemine ja kaasaegne reljeef uuritava alal. Kollasega on märgitud 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi algusel leitud asulakohad, punasega on märgitud 20. sajandi lõpul ja 21. sajandi algusel avastatud asulakohad.

Tabel 1. Uuritava ala mesoliitilised asulakohad

Nr	Asulakoha nimi	Küla	Vald	Kõrgus m ü.m.p. (NL topokaart)	Kõrgus m ü.m.p. (LIDAR)	X	Y
1	Andi	Otiküla	Kolga-Jaani	38,3	38,8	6479160,7	613660,0
2	Kallisaare	Leie	Kolga-Jaani	38,9	39,0	6477685,8	620459,8
3	Kivisaare	Lalsi	Kolga-Jaani	37,2	36,5	6481458,2	621837,0
4	Käo I, II, III	Kaavere	Kolga-Jaani	41,5	41,7	6481355,5	615749,0
5	Lalsi I	Lalsi	Kolga-Jaani	39,5	39,4	6482078,9	620243,0
6	Lalsi II	Lalsi	Kolga-Jaani	40,4	40,2	6482375,2	620087,4
7	Lalsi III	Lalsi	Kolga-Jaani	40,3	39,9	6483742,4	619676,9
8	Lalsi IV	Lalsi	Kolga-Jaani	39,6	40,2	6485132,8	619387,2
9	Lätkalu I	Latkalu	Kolga-Jaani	40,4	42,4	6480458,4	619539,5
10	Lätkalu II	Latkalu	Kolga-Jaani	39,4	39,3	6480763,0	619456,7
11	Lätkalu III	Latkalu	Kolga-Jaani	38,9	39,5	6480097,6	619887,1
12	Leie I	Leie	Kolga-Jaani	38,0	38,5	6478271,8	618551,3
13	Leie II	Leie	Kolga-Jaani	37,5	37,2	6478650,0	618365,0
14	Leie III	Leie	Kolga-Jaani	37,0	36,6	6477695,0	618690,0
15	Lohu	Leie	Kolga-Jaani	37,5	37,8	6477051,9	619711,6
16	Meleski 1	Meleski	Kolga-Jaani	38,7	38,7	6478381,0	621745,9
17	Meleski 2	Meleski	Kolga-Jaani	37,6	38,1	6478353,4	621601,8
18	Meleski 3	Meleski	Kolga-Jaani	37,6	37,5	6478475,1	621546,2
19	Meleski 4	Meleski	Kolga-Jaani	38,3	38,3	6479843,0	621812,2
20	Moksi I, II, III	Latkalu	Kolga-Jaani	39,8	40,0	6479402,3	620872,0
21	Oiu I	Oiu	Kolga-Jaani	38,0	37,9	6476548,8	615594,5
22	Oiu II	Oiu	Kolga-Jaani	38,0	37,6	6476235,9	615424,6
23	Oiu III	Oiu	Kolga-Jaani	36,2	36,1	6475305,6	614833,6
24	Reiali	Otiküla	Kolga-Jaani	40,6	40,3	6480693,5	613905,0
25	Sibari	Kaavere	Kolga-Jaani	45,6	45,8	6483798,6	612911,9
26	Siimusaare	Meleski	Kolga-Jaani	37,8	39,1	6480714,3	621529,7
27	Suigu	Kaavere	Kolga-Jaani	48,5	48,2	6484838,2	612431,9
28	Vommi	Otiküla	Kolga-Jaani	38,9	39,5	6478982,0	614371,8

Asulakohtade asend reljefil

Nagu juba öeldud, hõlmab käesolev töö kõik uurimisala piires teadaolevad 28 arheoloogide poolt mesoliitikumi dateeritud asulakohta. Nende paiknemise kõrgused varieeruvad 36,2-48,5 m ü.m.p. NL topokaartide kõrgusandmete järgi ja 36,1-48,2 m ü.m.p. LIDAR-i kõrgusandmete järgi (tabel 1).

Kiviaja inimesed eelistasid rajada oma külad ja laagripaigad vee lähedale – kas järvede või jõgede kallastel või mereranda (Kriiska ja Tvauri, 2002). Loomulikult käisid aga kiviaja inimesed ka veekogudest kaugemal ja rajasid ka seal ajutisi jahi- või korjelaagreid (Kriiska jt., 2004a). See tähendab omakorda seda, et ka uuritava ala asulakohad võivad olla seotud nii järve kallastega, kui ka paikneda neist kaugemal sisemaal.

Magistritöös käsitletavad asulakohad võib tinglikult jagada kahte gruppi nende leidmise ja/või esmauurimise aja järgi – need, mis leiti 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi algul ja need, mida avastati 20. sajandi lõpul ja 21. sajandi algul (joonis 4). Viimase kahekümne aasta jooksul uuritud asulakohad on arheoloogide poolt määratud kui „rannaasulakohad“, ehk nende paiknemine on seotud Suur-Võrtsjärve kallastega (Kriiska ja Tvauri, 2002).

Veekogudest kaugemal paiknevad asula- ja leiukohad võimaldavad eristada muistiseid, mille teke võib olla seotud metsa rajatud ajutiste jahi- või korjelaagritega (Kriiska jt., 2004a). Asulakohad, mis leiti 19. sajandi lõpul ja 20. sajandi algul, asuvad Nüüdis-Võrtsjärvest kaugemal, kui need asulakohad, mis leiti või uuriti 20. sajandi lõpul ja 21. sajandi algul.

19. sajandi lõpul ja 20. sajandi algul on avastatud Suigu, Sibari, Kāo I-III, Reiali, Lätkalu I-III, Andi ja Vommi leiukohad. Kui Kāo I-III, Reiali, Andi ja Vommi kõrgused ü.m.p. on sarnased teiste asulakohtade kõrgustega, siis Sibari ja Suigu kõrgused on oluliselt suuremad – vastavalt 45,6 ja 48,5 m ü.m.p. NL topokaartide kõrgusandmete ja 45,8 ja 48,2 m ü.m.p. LIDAR-i kõrgusandmete järgi (tabel 1). Ka paiknevad need tänapäevasest Võrtsjärvest olulisemalt kaugemal. Nii võis esialgselt oletada, et Suigu ja Sibari asulakohtade paiknemine ei ole seotud Suur-Võrtsjärve kallastega ja nende puhul ongi tegu ajutiste metsa jahi- või korjelaagritega. Üheks käesoleva töö eesmärgiks on selle hüpoteesi kontrollimine.

Enamus asulakohti paiknevad 36-38 m ü.m.p. samakõrgusjoonte lähedal (joonis 4), Reiali ja Kāo I-III asulakohad asuvad veidi kaugemal, ent Sibari ja Suigu kilomeetrite kaugusel

Võrtsjärvest ja oluliselt kaugemal 36-38 m ü.m.p. samakõrgusjoontest. Siiski ei tähenda see veel, et need asulakohad ei paiknenud Suur-Võrtsjärve kallastel. Pärast liustiku sulamist on toimunud maapinna kerge. Kõrgusmudel demonstreerib vaid tänapäeva situatsiooni. Selleks, et võiks teha järeldusi asulakohtade paiknemise seotusest Suur-Võrtsjärvega, tuleb arvestada pärastjäähäaegset maapinna tõusu. Maakerke arvesse võtmiseks on vaja kõrgusmudelit kallutada ja nii rekonstrueerida paleogeograafiline kõrgusmudel.

Kõrgusmodeli kallutamine

Kõrgusmodelite kallutamiseks kasutati Moora ja Raukase poolt pakutud maakerke asimuuti 330° (põhikaardi telgmeridiaani suhtes) ja samade autorite poolt pakutud maakerke tõusu Naritsa ja Paenaste vahel. Autorite andmete (leitud setete) põhjal umbes 10026 ± 67 ^{14}C aastat tagasi olid Paenaste ja Naritsa samal tasapinnal (Moora ja Raukas, 2003). Radiosüsiniku aastate kalendriaastatele kalibreerimiseks kasutati programmi CalPal (<http://www.calpal-online.de/>). Setete kalibreeritud vanus on 9606 ± 177 aastat eKr, mis on tänasest umbes 11 600 aastat tagasi. Paenaste kõrgus on täna 39 m ü.m.p. ja Naritsa kõrgus 29 m ü.m.p. Sellest lähtuvalt, on Paenaste kerkinud selle aja jooksul 10 meetrit enam.

Voored on suunatud mandrijää liikumise suunas (Arold jt., 1987). Võib oletada, et maakerge Kolga-Jaanis toimus samasuunaliselt liustiku liikumisega. Siis Moora ja Raukase poolt pakutud maakerke asimuut iseloomustab maakerget selles piirkonnas. Paenaste-Naritsa suund telgmeridiaani suhtes ei ole võrdne maakerke asimuudiga 330° . Selleks, et arvutada kaldenurka, joonistati mõtteline joon, mis on asimuudi suunaga risti. Sellest mõttelisest joonest joonistati horisontaal, mille kauguse ja maakerke järgi arvutati kaldenurk. Paenaste kaugus mõttelise jooneni on 50 978,15 m. Sellest lähtuvalt on maakerke kaldenurk $0^\circ 0' 40'' 46$.

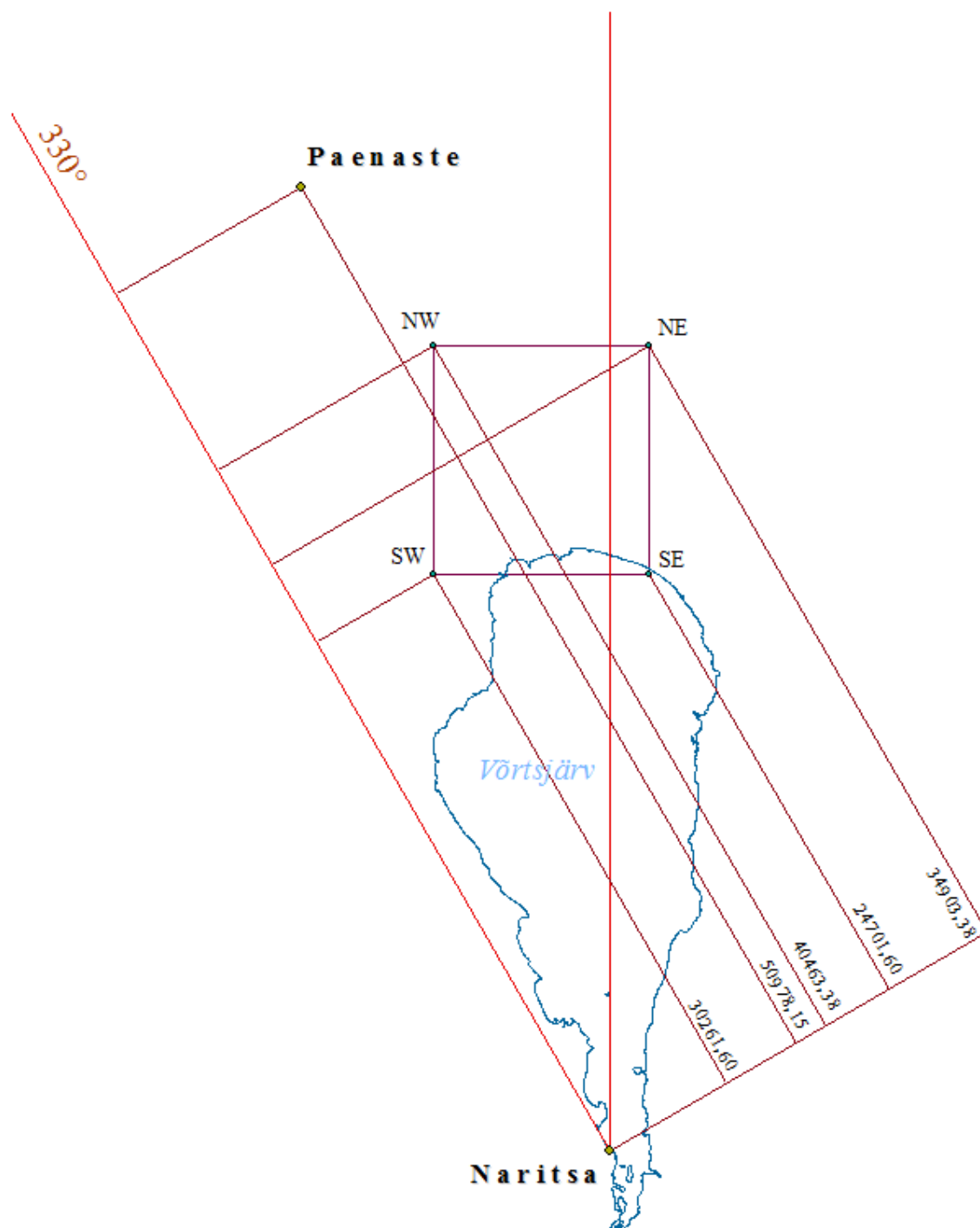
Kui kaldenurk on teada, saab arvutada ka teiste punktide kõrguse muutused viimase 11 600 aasta jooksul. Selleks on vaja mõõta nende kaugused mõttelise jooneni, mis on asimuudi suunaga risti. Kauguste ja maakerke kaldenurga abil arvutati uuritava ala raamkasti nurkade kõrguse muutused. Kõrgusmodelit kallutati lineaarselt. Erinevatel aegadel kerkis maa erineva kiirusega (Viiding, 1995) ehk maakerge ei toimunud lineaarselt. Pärast liustiku taganemist vabanes maa liustiku koormusest ja kerkimine toimus kiiremini, nüüd on need protsessid aeglasemad. Uuritava ala erinevate vertikaalliikumise kiiruste arvestamiseks ei ole aga kahjuks piisavalt lähteandmeid.

Mudeli kallutamiseks koostati maakerke arvutamise skeemi (joonis 5). Uuritava ala raamkasti nurkade kõrguste muutuste põhjal (tabel 2) programmi ArcGIS abil koostati trendipind, kus iga piksli väärtus vastas kõrgusmodeli iga piksli kõrguse muutusele. Kui trendipind lahutati kõrgusmodelist, saime uuritava alal ligilähedase reljeefi, mis eksisteeris seal u 11 600 aastat tagasi.

Uuritaval alal u 11 600 aastat tagasi eksisteerinud ligilähedane reljeef ja mesoliitiliste asulakohtade paiknemine neil on toodud joonisel 6 (digiteeritud kõrgusmodeli järgi) ja joonisel 7 (LIDAR-i andmete järgi).

Kallutatud reljeefide erinevuste hindamiseks topokaartide põhjal moodustatud paleokõrgusmodelist lahutati LIDAR-i paleokõrgusmodelit (joonis 8). Erinevus on üllatavalt suur: $-4,6$ m alates (LIDAR-i mudel on madalam kui ise digitu) kuni $+6,3$ m (LIDAR-i mudel on kõrgemal). Kõrgusmodelite erinevused ilmnevad selgete laikudena, mitte juhusliku ühtlaselt üle välja sinna-tänna varieeruvusena.

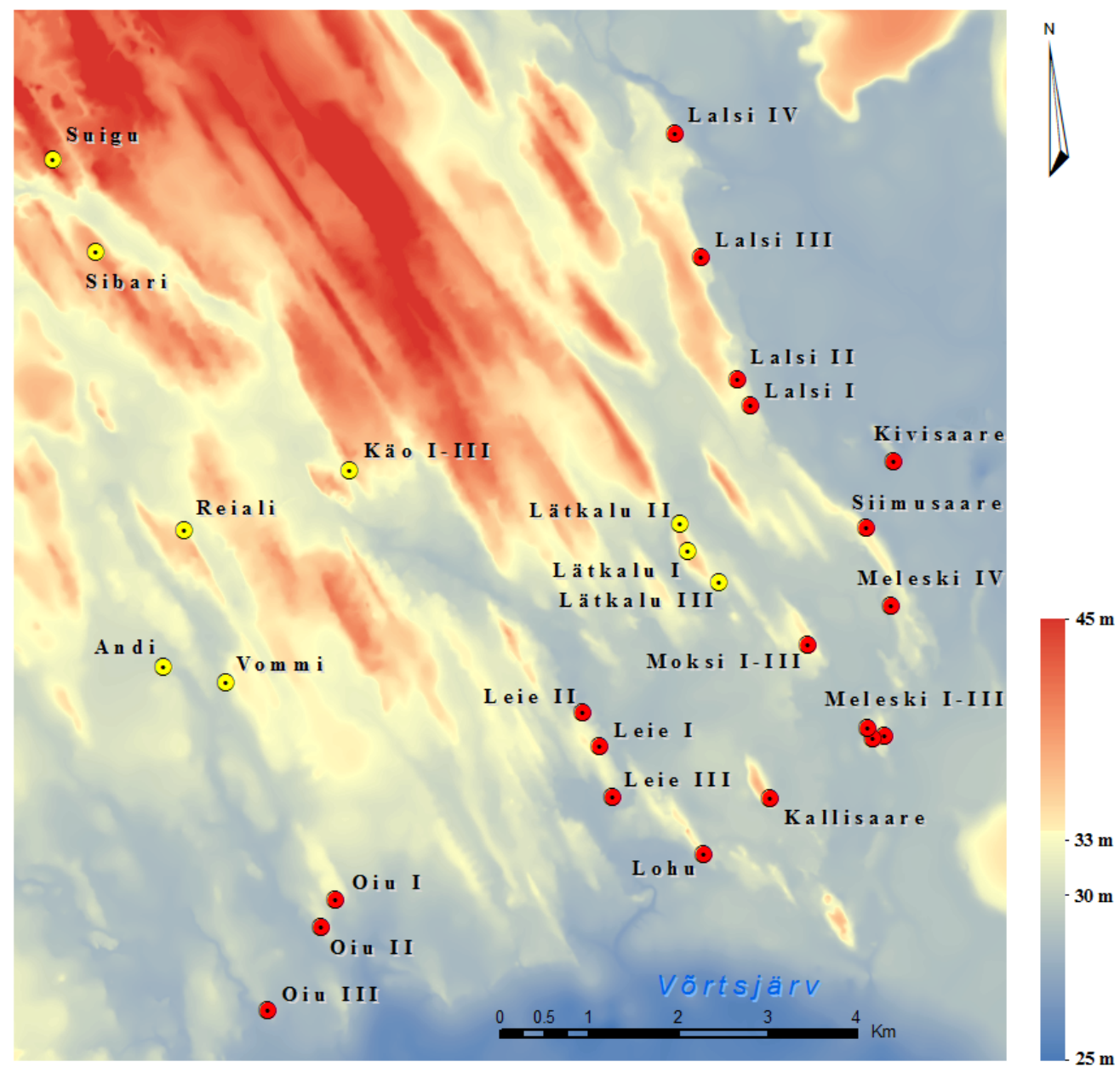
Võrreldes digiteeritud ja LIDAR-i andmete põhjal tuletatud reljeefi kallutusi, võib järeldada et digiteeritud kõrgusmodeli põhjal kallutatud reljeef on sujuvam ja LIDAR-i andmete põhjal koostatud reljeef on teravam ja seeläbi ka detailsem. Voortevahelised nõod eristuvad LIDAR-i andmete põhjal koostatud reljeefil paremini, mis on oluline voortevaheliste võimalike veekogude ulatuse hindamisel. Sestap kasutati edasises analüüsis LIDAR-i andmete põhjal koostatud kallutatud reljeefi mudelit.



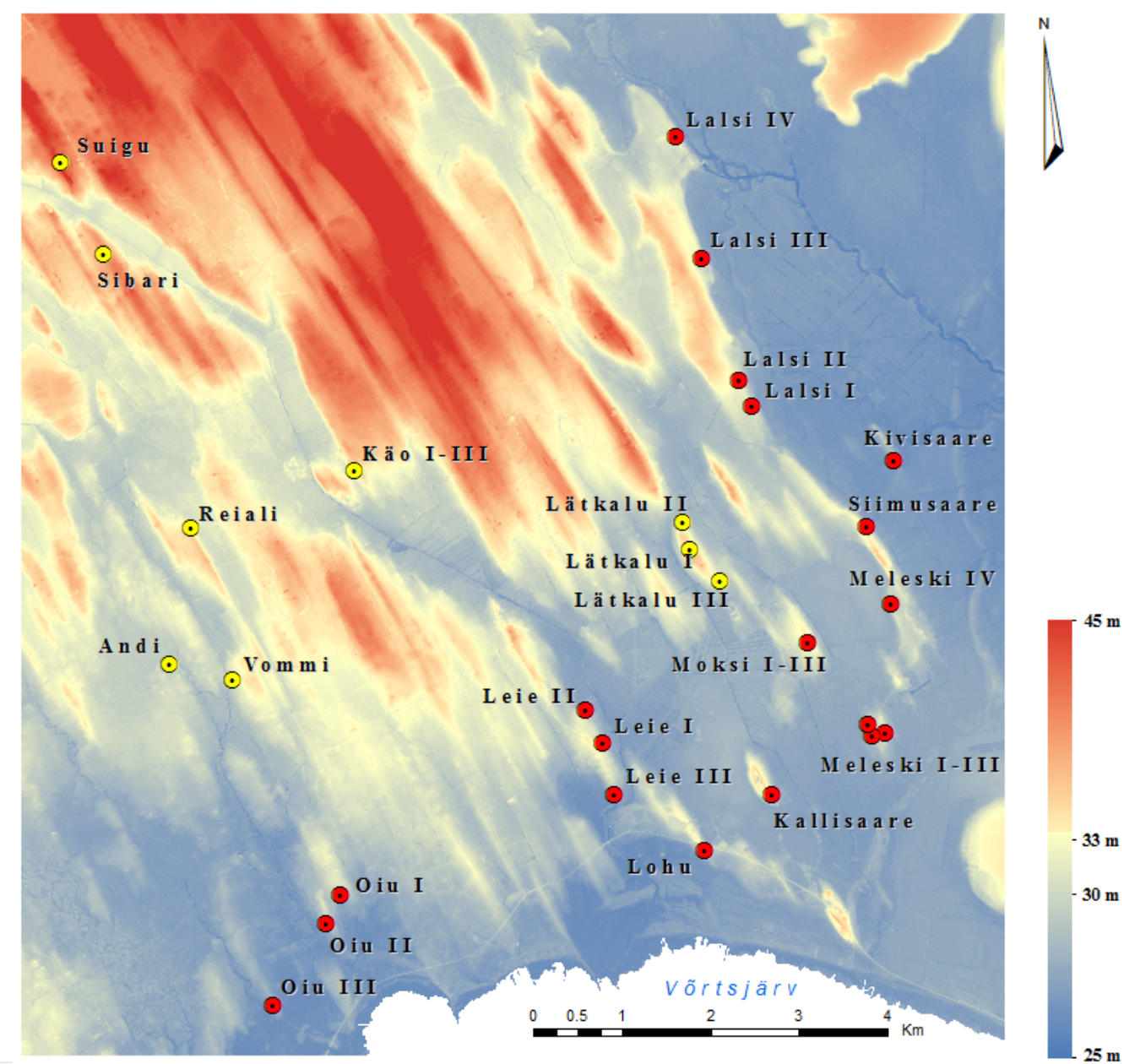
Joonis 5. Maakerke arvutamise skeem.

Tabel 2. Uuritava ala raamkasti nurkade maatõusu parameetrid.

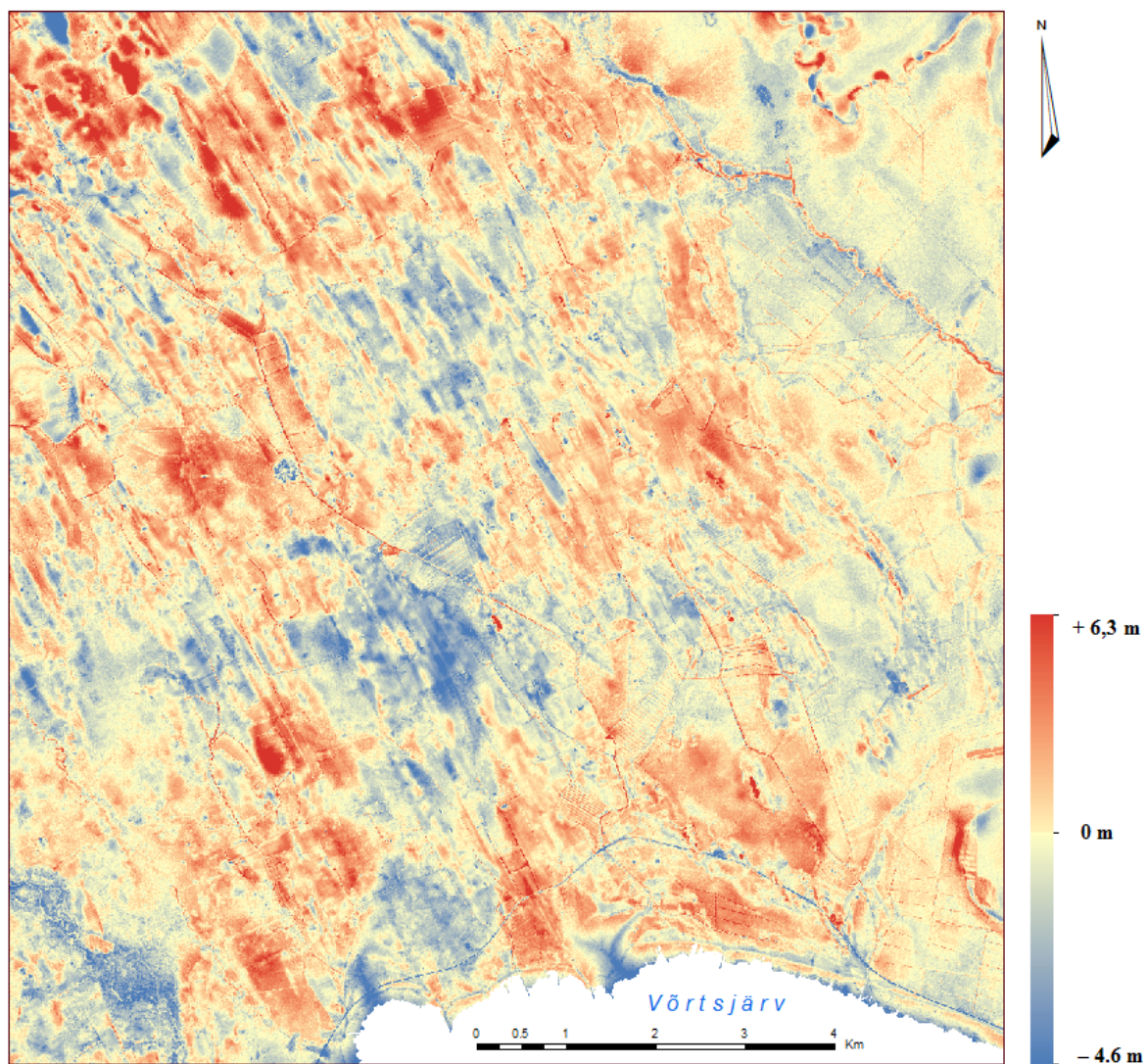
Nurk	Maakerke (m)	Kaugus mõttelisest joonest (m)
NW	7,94	40 463,38
NE	6,85	34 903,38
SW	4,85	30 261,60
SE	5,94	24 701,60



Joonis 6. Asulakohtade paiknemine ja digiteeritud kõrgusmudeli põhjal kallutatud reljeef.



Joonis 7. Asulakohtade paiknemine ja LIDAR-i andmete põhjal kallutatud reljeef.



Joonis 8. Kallutatud kõrgusmodelite kõrguste erinevused.

Asulakohtade paiknemine kallutatud reljeefil

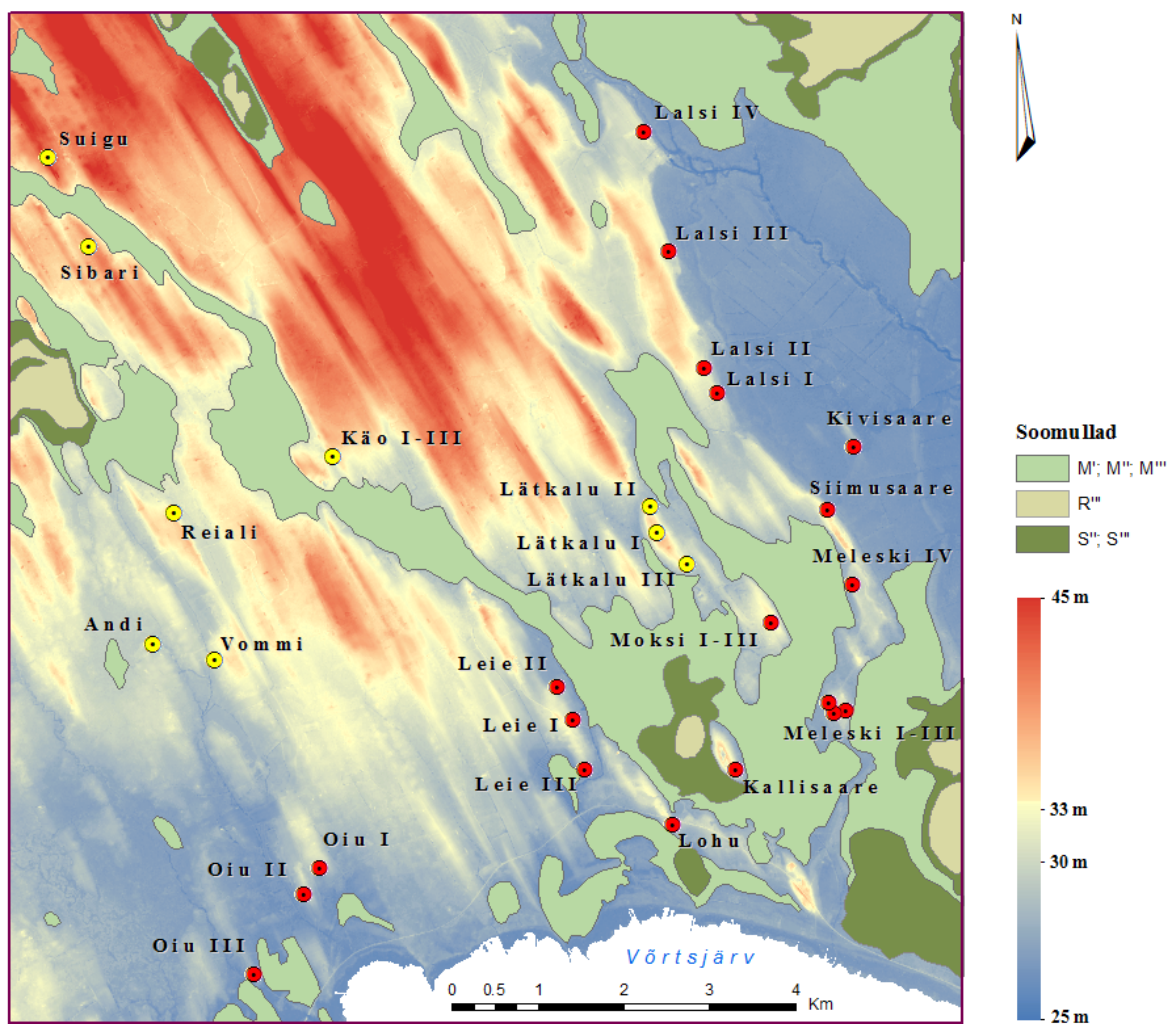
Asulakohtade kõrgused loeti uuesti kallutatud reljeefidel (tabel 3). Enamuse asulakohtade kõrgus on kallutatud reljeefide järgi 33 m lähedane. Tänapäevase reljeefi järgi madalamal kõrgusel asunud asulakoht Oiu III on LIDAR-i kõrgusandmete põhjal kallutatud reljeefil samal kõrgusel kui Kivisaare asulakoht. Madalaim asulakoha kõrgus on 30,4 m ü.m.p. ja kõrgem asulakoht paikneb kõrgusel 40,6 m ü.m.p. Tänapäevase situatsiooni järgi varieeruvad asulakohtade kõrgused 36,2 ja 48,5 m ü.m.p vahel (tabel 1). Madalama ja kõrgema asulakoha kõrguse erinevus on 10,2 m kallutatud reljeefi järgi ja 12,3 m tänapäevase reljeefi järgi. Võrreldes kallutatud mudelite kõrguste erinevustega (joonis 8), on asulakohtade kõrguste erinevused oluliselt väiksemad. See tähendab, et asulakohad asuvad aladel, kus LIDAR-i ja topokaartide põhjal genereeritud kõrgusmodelid annavad sarnase kõrguse.

Ilma paleogeograafilise rekonstruktsioonita ei ole võimalik väga selgelt aru saada asulakohtade paiknemise loogikast minevikus. Käesoleva magistritöö käigus valmis paleoreljeef, mis oletatavasti eksisteeris uuritaval alal 11 600 aastat tagasi. Saadud reljeefi põhjal võib eristada asulakohtade paiknemise iseärasusi mesoliitikumis. Kallutatud reljeefi jälgides (joonis 7) võib järeldada, et Lalsi I-IV, Kivisaare, Siimusaare, Meleski I-IV, Lätkalu I-III, Moksi I-III, Kallisaare, Lohu, Leie I-III, Oiu I-III, Vommi, Reiali ja Andi asulakohad paiknesid Suur-Võrtsjärve saartel. Kåo I-III asulakoht aga Suur-Võrtsjärve kaldal.

Suigu ja Sibari asulakohtade paiknemine on teiste asulakohtadest erinev. Suigu ja Sibari vahel on selgelt eristuv nõgu. Sibari asus tõenäoliselt Suur-Võrtsjärve saarel, Suigu ja Sibari vahelise tänapäeva nõo ääres. Maapinna kõrgus on nendevahelises tänapäevases nõos 32-33 m ü.m.p. Nagu juba eelpool mainitud, olid pärast liustiku sulamist voorte vahelised nõod täidetud veega ja kliima soojemaks ja niiskemaks muutumise tagajärjel hakkasid need soostuma (Valk, 2005). Võib oletada, et Sibari ja Suigu vahelises nõos toimus sama protsess. Selle hüpoteesi kontrolliks vaadeldi soomuldade paiknemist uuritaval alal. Selleks kasutati programmi ArcGIS ja Maa-ameti WMS-teenuse abil digiteeritud soomuldade kihti (aluskihiks kasutati mullakaart mõõtkavas 1:10 000)

Reljeefikaardile kanti madalsoomullad (M', M'', M'''), siirdesoomullad (S', S'') ja rabad (R''') (joonis 9). Uuritava ala madalsoomuldade turbakiht on kuni 1,5 m, siirdesoomuldadel kuni 2,5 m, ja rabadel kuni 3,5 m (Orru, 1995). Selleks, et saada mineraalmuldade kõrgust

soomuldadega kaetud aladel, tuleb lahutada turbakihi paksust nende leviku kõrgusandmetest.



Joonis 9. Soomuldade levik uuritava alal.

Soomuldade levik näitab, et Sibari ja Suigu vahelises nōos on madalsookiht. Kihi maksimaalne paksus on 1,5 m. Kui võtta arvesse turbakihi tūsedust, siis nōo madalaim maapinna kõrgus kallutatud reljeefi jārgi vōis olla 30,5-31,5 m ü.m.p. Rosentau koos kaasautoritega pakkus Suur-Vōrtsjärve kõrguseks 30 m ü.m.p. (Rosentau *et al.*, 2009). Nōo madalaim kõrgus on Rosentau Suur-Vōrtsjärve rannajoone kõrgusele lähedal. Samas, nōo kuju viitab vōimalusele, et selles kohas vōis Suur-Vōrtsjärve eksisteerimise ajal olla mõni vooluveekogu. Omaaegse vooluveekogu vōimalikkusele (sobivusele reljeefiga) antud kohas viitab ka Leie peakraavi paiknemine samas tēnapāeval. Selle oletuse tōestamiseks on vaja teostada tēpsemaid uuringuid, kuid praegune teave annab igal juhul aluse arvamuseks, et Suigu ja Sibari olid oma paiknemise poolest seotud veekoguga, kas Suur-Vōrtsjärvega vōi sellega seotud vooluveekoguga.

Tabel 3. Asulakohtade kõrgused kallutatud reljeefidel

Nr	Asulakoha nimi	Küla	Vald	Kõrgus m ü.m.p. (NL topokaart)	Kõrgus ü.m.p. (LIDAR)
1	Andi	Otiküla	Kolga-Jaani	31,3	32,4
2	Kallisaare	Leie	Kolga-Jaani	33,2	33,2
3	Kivisaare	Lalsi	Kolga-Jaani	31,1	30,4
4	Käo I, II, III	Kaavere	Kolga-Jaani	34,7	35,5
5	Lalsi I	Lalsi	Kolga-Jaani	33,2	32,9
6	Lalsi II	Lalsi	Kolga-Jaani	33,7	33,8
7	Lalsi III	Lalsi	Kolga-Jaani	33,6	33,2
8	Lalsi IV	Lalsi	Kolga-Jaani	32,4	33,3
9	Lätkalu I	Latkalu	Kolga-Jaani	36,3	36,3
10	Lätkalu II	Latkalu	Kolga-Jaani	33,2	33,1
11	Lätkalu III	Latkalu	Kolga-Jaani	32,8	33,5
12	Leie I	Leie	Kolga-Jaani	32,5	32,7
13	Leie II	Leie	Kolga-Jaani	31,6	31,3
14	Leie III	Leie	Kolga-Jaani	30,9	30,9
15	Lohu	Leie	Kolga-Jaani	32,3	32,2
16	Meleski 1	Meleski	Kolga-Jaani	33,1	33,0
17	Meleski 2	Meleski	Kolga-Jaani	32,0	32,5
18	Meleski 3	Meleski	Kolga-Jaani	32,0	31,9
19	Meleski 4	Meleski	Kolga-Jaani	32,4	32,5
20	Moksi I, II, III	Latkalu	Kolga-Jaani	33,9	34,1
21	Oiu I	Oiu	Kolga-Jaani	32,1	32,0
22	Oiu II	Oiu	Kolga-Jaani	31,9	31,7
23	Oiu III	Oiu	Kolga-Jaani	30,4	30,4
24	Reiali	Otiküla	Kolga-Jaani	33,9	33,8
25	Sibari	Kaavere	Kolga-Jaani	38,3	38,3
26	Siimusaare	Meleski	Kolga-Jaani	33,3	33,5
27	Suigu	Kaavere	Kolga-Jaani	41,2	40,6
28	Vommi	Otiküla	Kolga-Jaani	32,6	33,1

Arutelu

Arheoloogid vajavad paleogeograafilisi rekonstruktsioone, et saada aru erinevate esiajaloo perioodide inimasustuse paiknemise loogikast, kuid seeläbi on võimalik luua ka uusi lähtekohti asulakohtade otsimiseks. Kolga-Jaani piirkonnas või selle üksikosade paleogeograafilisi rekonstruktsioone on teinud erinevad uurijad erinevatel aegadel (Tallgren, 1922; Indreko, 1932; Indreko, 1935; Kriiska, 2004), need on olnud erineva täpsuse ja ulatusega (Kriiska ja Lõugas, 2006). Käesoleva magistritöö käigus valmis uus Kolga-Jaani paleogeograafiline kõrgusmodel. Tänu nii uutele arheoloogilistele lähteandmetele kui ka modelleerimisvõimalustele on see oluliselt täpsem varasematest.

Kõrgusmodeli vead (ebamääruised) võivad tulla kallutamise metoodikast. Kõrgusmodelit kallutati lineaarselt, maapinna kerke suunaks valiti asimuut 330°. Maakerke kiirus ja suund oli erinevatel aegadel erinev. Selleks, et koostada täpsemat paleogeograafilist modelit, tuleks arvesse võtta maakerke erinevaid kiirusi ja suundi.

Paleogeograafilise kõrgusmodeli abil saab kontrollida mesoliitiliste asulakohtade seost Suur-Võrtsjärve kallastega ja teha järeldusi nende paiknemise suhte kohta. Arheoloogid on järeldanud, et kiviaja inimesed rajasid elupaigad veekogude kallastele ning elatasid end jahist, kalastusest ja korilusest (Kriiska, 2006). Teadaolevad Kolga-Jaani piirkonnas leitud mesoliitilised asulakohad on oletatavasti seotud Võrtsjärve muinaskallastega. Uuritava ala paleogeograafiline rekonstruktsioon annab võimaluse kontrollida selliseid järeldusi ja aluse planeerida uusi uuringuid selle rekonstruktsiooni täpsustamiseks.

Praegune paleogeograafiline rekonstruktsioon võimaldab vaatamata oma ebatäpsustele arheoloogilise materjali tõlgendamisse hõlmata ka elupaikade asendi teavet. Asulakohtade paiknemise järgi paleogeograafilisel reljeefil saab analüüsida kiviaja inimeste maakasutuse üldiseid printsiipe ja koostada maakasutuse mudeleid. Kindlasti on see abiks ka konkreetsete asulakohtade detailanalüüsile selgitamiseks välja kas tegu on ajutise peatuspaiga või püsivama asulakohaga.

Kaardil on näidatud soomuldade levik uuritaval alal. Pärast liustiku taganemist olid voorte vahelised nõod täidetud sulanud veega ja voorestiku territooriumil tekkis rohkesti järvi. Soomuldade levik viitab kunagi eksisteerinud veekogude paiknemisele territooriumil. Võib arvata, et voortel paiknevatel Suigu ja Sibari asulakohade vahel soomuldade aladel võis 11600 aastat tagasi eksisteerida (voolu)veekogu. Sellest lähtuvalt võib järeldada, et need

asulakohad olid seotud kas Suur-Võrtsjärvega või vooluveekoguga, millel oli ühendus Suur-Võrtsjärvega. Vooluvee loogilisusele antud kohas viitab ka Leie peakraavi paiknemine samas tänapäeval.

Arvatavasti, on tänaseks leitud vaid väike osa mesoliitiliste inimeste elupaiku (Kriiska ja Tvauri, 2002) ja uuritaval alal võib leida uusi kiviaja asulakohti veel tulevikus. Kolga-Jaani piirkonda tuleb arheoloogilise materjali leidmise rohkuse tõttu uurida täpsemalt. Käesoleva töö tulemusena valminud paleogeograafiline kaart võib olla kasuks tulevastele kiviaja asulakohtade otsijatele. Kaardil eristuvad selgelt voored, kust veel ei tunta asulakohti, kuid samas võiksid needki sobida oma paiknemise poolest keskkiviaegsete inimeste elamispaikadeks. See veel ei tähenda, et kiviaja inimesed ilmtingimata elasid või peatusid nendel aladel, sest elupaikade valikut määrasid ilmselt mitmed tegurid, millest osa on ka raskesti analüüsitavad (näiteks usundiline käitumine jms). Täiendavad väitööd võiksid aga siin mõningast selgust tuua.

Erinevad uuringud näitavad, et esiajalooliste asulakohtade paiknemist võib prognoosida statistiliste meetodite abil, kasutades asulakohtade paiknemise modelleerimist (Mehrer & Wescott, 2006). Selleks, et koostada asulakohtade paiknemise prognooskaarti, on vaja võtta arvesse lisaks reljeefile aga veel teisigi tegureid, nagu taimestik, loomade liikumisteed jne, sellise analüüsi jaoks ei ole aga uuritavalt alalt kogutud veel piisavalt andmeid.

Asulakohtade otsimisel on arheoloogid suurel määral lähtunud oletatavast kiviaegsete elupaikade paiknemisest Suur-Võrtsjärve kaldal, muudelt aladelt on asulakohti otsitud vähem ja nende puudumine võib kajastada samavõrd nende reaalselt puudumist minevikus kui ka seda, et neid ei ole veel lihtsalt leitud. Probleemne on ka see, et reeglina ei ole dokumenteeritud ka alasid kus on toimunud arheoloogilised inspeksioonid, kuid asulakohti neist paigust ei ole leitud. Seetõttu puudub adekvaatne andmestik n-ö tühjadest aladest. Tulenevalt andmestiku eripärast ei ole statistiline seoste otsimine reljeefi omaduste ja asulakohtade paiknemise vahel põhjendatud, vähemalt veel praeguse andmestiku juures.

Seetõttu on geoinformaatika kasutusvõimalused arheoloogilise materjali tõlgendamisel käesolevas projektis seotud asukohtade paiknemise analüüsi ja visualiseerimisega reljeefi, sh selle paleorekonstruktsiooni suhtes ning võimalike veekogude rannajoonte suhtes. Kvantitatiivseks ruumistatistikaks ei ole andmete hulk ja täpsus (nii oletatava rannajoone paiknemise kui asulakohtade asukohatäpsus) piisav.

Võib arvata, et mõned asulakohad tekkisid Suur-Võrtsjärve põhjarannikule varem, kui teised. Need asulakohad, mille kõrgus üle merepinna on väiksem, võisid tekkida hiljem, kui need, mille kõrgus on suurem. See on tinglik eristus ja pelgalt vaid käesoleva töö autori arvamus. Käesoleva töö autor loodab, et tehtud töö aitab arheoloogidel leida tulevikus uusi asulaid.

Tulemused ja kokkuvõte

Töö käigus digiteeriti NL topokaartide järgi uuritava ala kõrgusandmeid, et jälgida arheoloogilistes aruannetes dokumenteeritud mesoliitikumi asulakohtade paiknemist uuritaval alal. Saadud kõrgusmudelit kallutati pärastjääaegset maakerke tõusu ja kerke suunda arvestades. Töös kasutati ka täpseid kaugseire kõrgusandmeid (LIDAR-i kõrgusandmed). LIDAR-i andmete põhjal saadud kõrgusmudelit kallutati arvestades maakerke tõusu ja suunda. Saadud Kolga-Jaani paleogeograafilised kõrgusmudelid on tänapäeval kõige detailsemad. Kahe kõrgusmudeli võrdlemine näitas, et digiteeritud reljeef on sujuvam ja maapinna muutused ei eristu sellel nii teravalt, nagu LIDAR-i andmete põhjal konstrueeritud reljeefil.

Töö käigus kanti kaardile kõik teadaolevad mesoliitilised asulakohad, mis asuvad uuritava ala piires. Paleogeograafilise reljeefi abil kontrolliti kvalitatiivselt nende paiknemise seotust Suur-Võrtsjärvega. Ka tänapäeval teistest asulakohtadest erinevalt paiknevad Suigu ja Sibari asulakohad võib lugeda seotuks samuti veekoguga. Need võisid paikneda Suur-Võrtsjärve kaldal, kuid on ka võimalik, et asulakohtade voorte vahelises nõos eksisteeris kunagi mingi vooluveekogu. Selleks, et tõestada vooluveekogu oletust, tuleb läbi viia geoloogilisi uuringuid voortevahelises nõos.

Teiste asulakohtade paiknemine on selgelt seotud Suur-Võrtsjärve saarekestega või kallastega. Võib arvata, et mõned asulakohad tekkisid Suur-Võrtsjärve põhjarannikule varem, kui teised. Need asulakohad, mille kõrgus üle merepinna on väiksem, võisid tekkida hiljem, kui need, mille kõrgus on suurem.

Töös on toodud kaart Kolga-Jaani mesoliitiliste asulakohtade paiknemisega paleogeograafilisel reljeefil, asulakohtade kõrgused eri aegadel ja asulakohtade L-Est koordinaadid. Käesoleva töö autor loodab, et tehtud töö aitab arheoloogidel leida tulevikus uusi asulaid.

Summary

Use of Geoinformatics in Archaeology based on the Study of Northern Shores of Lake Võrtsjärv

Maria Trushina

The use of Geoinformatics in Archaeology has been described in this paper. The study area covers most of the Kolga-Jaani drumlin field in northern part of Lake Võrtsjärv. The northern shores of Lake Võrtsjärv are rich in Mesolithic archaeological sites. Estonian Mesolithic sites are usually located near ancient rivers, sea or lake shores. The connection of the Kolga-Jaani Mesolithic sites' location to Great Võrtsjärv (Lake Võrtsjärv's stage of development in Holocene) is analyzed in this master's thesis.

The objectives of the current study are to:

- study the possibilities of using Geoinformatics in analyzing and interpreting of archaeological data
- locate on map Mesolithic sites that are situated in the area studied in this thesis;
- construct a palaeogeographic terrain model of the Kolga-Jaani area;
- examine, with the help of paleogeographic relief, the shoreline of Great Võrtsjärv and control, with the help of paleogeographic relief, the connection of the Mesolithic archaeological sites' location to the shores of Great Võrtsjärv.

In this thesis, the Kolga-Jaani area's contemporary terrain model was constructed using the USSR's topographical maps. Post-glacial land uplift towards an azimuth 330° was eliminated from the constructed terrain model and palaeogeographic relief came out. The elevation remote sensing data (LIDAR elevation data) was used to compare the accuracy of the constructed terrain model. Palaeogeographic terrain model based on LIDAR elevation data was constructed. Two palaeogeographic terrain models based on different data has been compared and LIDAR-based model appeared to be the best of them two.

By observing the locations of swamp soils and the distribution of Great Võrtsjärv water body in the area studied, the connection of the Kolga-Jaani Mesolithic sites' location to

Great Võrtsjärv in the beginning of the Holocene is analyzed. The author of this thesis concludes that most of the Mesolithic sites in the area studied located on the islets or near the shores of Great Võrtsjärv and two sites (Suigu and Sibari) could be located near riverside. The author hopes that maps constructed on the basis of palaeogeographic terrain model will be helpful in finding new archaeological sites in area studied.

Kasutatud kirjandus

- Arold, I., 1987. Üldine geomorfoloogia. Tartu.
- Arold, I., Raukas, A., Viiding, H., 1987. Geoloogia alused. Tallinn.
- Benn, D.I., Evans, D.J.A., 1998. Glaciers & Glaciation. London.
- Bolz, M., 1914a. Das neolitische Gräberfeld von Kiwisaare in Livland. Baltische Studien zur Archäologie und Geschichte. Arbeiten des Baltischen Vorbereitenden Komitees für den XVI. Archäologischen Kongress in Pleskau 1914 herausgegeben von der Gesellschaft für Geschichte und Altermuskunde der Ostseeprovinzen Russlands. Riga, 15-32.
- Bolz, M., 1914b. Neolitische Steingeräte aus dem Pernau-Fellinische Kreise und dessen Umgebung. Sitzungsberichte der Altertumforschenden Gesellschaft zu Pernau. Siebenter Band. Pernau 1914, I-CXVI.
- Hoib, T., 1979. Kolga-Jaani voorestik. Diplomitöö Tartu Ülikooli füüsilise geograafia kateedris. Tartu.
- Indreko, R., 1932. Der Siedlungsfund von Moksi, Gemeinde Võisiku. Õpetatud Eesti Seltsi Aastaraamat 1930. Tartu, 197-218.
- Indreko, R., 1935, Viljandimaa muinasaeg. Äratrükk EKS-i Kodu-uurimise Toimkonna toimetamisel ilmuvast koguteosest Eesti VII – Viljandimaa. Eesti Kirjanduse Selts. Tartu.
- Kall, T., 2008. Maapinna vertikaalliikumiste uurimisest Eestis ja Fennoskandias. Geodeet, 36 (60), 15-23.
- Kalle, S., 2005. Võrtsjärve põhjaranniku mesoliitiline asustuspilt kinnis- ja irdmuististe võrdluses. Bakalaureuse töö Tartu Ülikooli ajaloo ja arheoloogia instituudis. Tartu.
- Kalm, V., Gorlach, A., Lasberg, K., Kalla, K., 2011. Viimase Skandinaavia jäätumise dünaamika Läänemerest kagus. Parmasto, E., Laisk, A., Kaljo D., (vastutavad toimetajad), Help, H.-L., Jakobson, S., Rebo, Ü., Varlamova, G., (toimetajad). Teadusmõtte Eestis. Elu- ja maateadused. (161 - 167). Tallinn: Eesti Teaduste Akadeemia.

- Kiristaja, A., Tvaauri, A., Vindi, A. 1998. 1997. aasta arheoloogilised inspeksioonid. – Arheoloogilised välitööd Eestis 1997. Tallinn, 210–236.
- Kriiska, A., 2004. Aegade alguses. 15 kirjutist kaugemast minevikust. Tallinn.
- Kriiska, A., 2006. Kiviaja uurimine. Arheoloogiline uurimistöö Eestis 1865-2005. <http://www.arheo.ut.ee/ArheoLugu.htm> (vaadatud 13.05.2013).
- Kriiska, A., Jonanson, K., 2003. Kivisaare kiviaja asulakoht ja matmispaik. Viljandi muuseumi aastaraamat 2002. Viljandi, 39-55.
- Kriiska, A., Jonanson, K., 2004. Arheoloogilisest inspeksioonist Võrtsjärve muinasrandadele 19. ja 20. aprillil 2002. aastal. Tartu.
- Kriiska, A., Tvaauri, A., 2002. Eesti muinasaeg. Tallinn.
- Kriiska, A., Haak, A., Johanson, K., Lõhmus, M., Vindi, A., 2004a. Uued kiviaja asulakohad ajaloolisel Viljandimaal. Viljandi Muuseumi aastaraamat 2003. Viljandi, lk. 35-51.
- Kriiska, A., Haak, A., Johanson, K., Lõhmus, M., Vindi, A., 2004b. Aruanne 13.-15. mail 2003. aastal toimunud arheoloogilisest inspeksioonist Kesk-Eestisse. Tartu.
- Kriiska, A., Lõugas, L. 2006. Scientific Methods in Estonian Archaeology. In: Lang, V.; Laneman, M., Archaeological Research in Estonia 1865–2005. Estonian Archaeology 1. Tartu University Press. 269-291.
- Konsa, M., Ots, M. 2002. 2001. aastal avastatud muistised. – Arheoloogilised välitööd Eestis 2001. Tallinn, 192–199.
- Konsa, M., Ots, M. 2003. 2002. aastal avastatud muistised. – Arheoloogilised välitööd Eestis 2002. Tallinn, 230–238.
- Mell, K., 2006. Tänapäevase reljeefimudeli kasutamisevõimalused Võrtsjärve arengu selgitamisel. Bakalaureuse töö Tartu Ülikooli geograafia instituudis. Tartu.
- Merher, M. W., Wescott, K. L. (editors), 2006. GIS and Archaeological Site Location Modeling. Boca Raton.

- Miidel, A., Raukas, A., Vaher, R., 2003. Võrtsjärve madaliku geoloogia ja maavarad. Haberman, J., Pihu, E., Raukas, A. (toimetajad), Võrtsjärv. Loodus. Aeg. Inimene. 39-53. Tallinn.
- Moora, T. 2003. Võrtsjärve madaliku esiasustus. Haberman, J., Pihu, E., Raukas, A. (toimetajad), Võrtsjärv. Loodus. Aeg. Inimene. 417-428. Tallinn.
- Moora, T., Raukas, A., 2003. Järve kujunemine ja areng. Haberman, J., Pihu, E., Raukas, A. (toimetajad), Võrtsjärv. Loodus. Aeg. Inimene. 83-95. Tallinn.
- Moora, T., Raukas, A., Tavast, E., 2002. Geological history of Lake Võrtsjärv. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Geology, 51(3), 157-179.
- Orviku, L., 1958. Neue Angaben über die Geologie des Sees Võrtsjärv. Eesti NSV Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituudi Uurimused, III , 269–293 (vene k.).
- Orviku, K., 1973. Võrtsjärve geoloogilisest arengust. Rmt T. Timm (toimetaja), Võrtsjärv. Tallinn, 26-32.
- Raukas, A., 1995. Pinnakate. Raukas, A. (koostaja), Eesti. Loodus. 92-118. Tallinn.
- Raukas, A., 1988. Eestimaa viimastel aastamiljonitel. Tallinn.
- Rosentau, A., Vassiljev, J., Hang, T., Saarse, L., Kalm, V., 2009. Development of the Baltic Ice Lake in eastern Baltic. Quaternary International, 206, 16-23.
- Rosentau, A., Veski, S., Kriiska, A., Aunap, R., Vassiljev, J., Saarse, L., Hang, T., Heinsalu, A., Oja, T., 2011. Palaeogeographic Model for the SW Estonian Coastal Zone of the Baltic Sea. Harff, J.; Björck, S.; Hoth, P. (editors). The Baltic Sea Basin. Springer, 165-188.
- Rosentau, A., Muru, M., Kriiska, A., Subetto, D., Vassiljev, J., Hang, T., Gerasimov, D., Nordqvist, K., Ludikova, A., Lõugas, L., Raig, H., Kihno, K., Aunap, R., Letyka, N., 2013. Stone Age settlement and Holocene shore displacement in the Narva-Luga Klint Bay area, eastern Gulf of Finland. Boreas, 1 - 15.
- Tallgren, A. M., 1922. Zur Archäologie Eestis, I. Vom anfang der besiedlung bis atwa 500 n. Chr. – Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis (Dorpatensis), III: 6. Dorpat.

Valk, U., 2005. Eesti rabad. Tartu.

Viiding, H., 1995. Eesti territooriumi geoloogiline kuuluvus, struktuurigeoloogiline jaotus ja tektooniline iseloomustus. Raukas, A. (koostaja), 40-73. Tallinn.

Walker, M., Johnsen, S., Rasmussen, S. O., Popp, T., Steffensen, J.-P., Gibbard, P., Hoek, W., Lowe, J., Andrews, J., Björck, S., Cwynar, L. C., Hughen, K., Kershaw, P., Kromer, B., Litt, T., Lowe, D. J., Nakagawa, T., Newnham, R., and Schwander, J., 2009. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. J. Quaternary Sci., 24, 3–17.

Interneti allikad

Maa-ameti geoportaal a:

<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Teenused/Avalik-WMS-teenus-p65.html>
(vaadatud 13.05.2013)

Maa-ameti geoportaal b:

<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Topograafilised-andmed/Korgusandmed-p114.html> (vaadatud 13.05.2013)

Radiosüsiniku dateeringute kalibreerimisprogramm CalPal quickcal2007 ver.1.5:

<http://www.calpal-online.de/> (vaadatud 31.05.2013)

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, **Maria Trušina** (sünnikuupäev: **09.12.1985**), annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Geoinformaatika kasutus arheoloogias Võrtsjärve põhjaranniku uurimise näitel,

mille juhendaja on Tõnu Oja ja kaasjuhendaja Aivar Kriiska

- reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
- olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
- kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **17.05.2013**